

涌池の陸水生物学的研究

—特に植物プランクトン及び光合成細菌の基礎生産について—

落 合 照 雄

Hydrobiological studies of the Lake Wakuike.
special reference to the production of phytoplankton
and photosynthetic bacteria

Teruo Ochiai

1. はじめに

涌池は長野市の西部丘陵地にあり、標高565m、湖面積0.023km²、最大水深10.8mの小池である。今から154年前、弘化4年(1847)北信濃を襲った善光寺大地震によって、涌池地区の凹地が北の岩倉山の崩落で堰止められてできた池である。(Fig 1)

この池の湖沼学的研究は、田中(1926)により始められ、その後、吉村(1936)、上野(1936)による水質、プランクトンなどの調査で自然状態で富栄養湖であることが判明した。また、神保(1939,'40)により夏季を中心に下層無酸素層に光合成細菌が生息していることが確認され、光合成細菌の研究者であったKuznetsovは自著のなかに Lake Wakuike として記載している。

戦後、落合(1960,'66,'84,'88,'97)により研究され、更に高橋・市村(1968,'70)、野

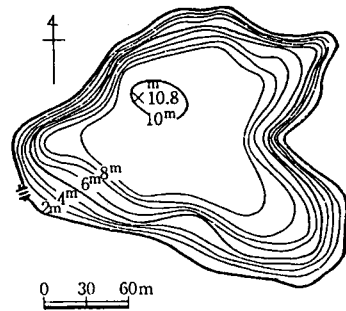


Fig 1. Bathymetrical map of Lake Wakuike. (Tanaka. 1926)

崎ら (1995) によっても調査されている。

本稿は基礎生産力が非常に高い涌池の植物プランクトンと、下層の光合成細菌の占める役割について調査したものである。

2. 研究方法

筆者は1964年5月から65年12月まで原則として月1回、湖心にて採水・採集し、水質、プランクトン、植物プランクトン及び光合成細菌の生産量の研究をおこなった。

調査項目は、透明度、水温、pH、DO、CO₂、SO₄²⁻、H₂S、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SiO₂-Si、クロロフィル a 量、バクテリオクロロフィル C 量を調べ、植物プランクトン及び光合成細菌の基礎生産量を測定した。プランクトンはネットで採集した。

この池水は灌漑用水のため平常の水深11mが、夏季には6m程に低下する。

3. 調査結果

A 一般条件

○ 透明度

最小値は0.36m、最大値は1.15mで、平均値は0.73mと非常に小さな値を示した。冬停滞期から春循環期にかけてやや値が大きく、夏停滞期は小さくなった。秋循環期は値の変動が大きかった。

○ 水温 (Fig 2 - A)

夏停滞期は池表面が最高値の30°Cを越えることがあり、池底水温は夏期9°C、冬期5°Cであった。夏停滞期の水温躍層は水深3mとの間にみられ、池表面との水温差は19°Cと非常に大きかった。

○ pH (Fig 2 - B)

春循環期の終り頃から夏停滞期にかけて池表面は9.0以上の高い値を示し、その最高値は9.7であった。秋循環期は7.6~8.0で上下層間にあまり差がなく、続く冬停滞期はそれよりやや低下して7.5~7.8の等量値で池表面から池底まで連続していた。池底は秋循環

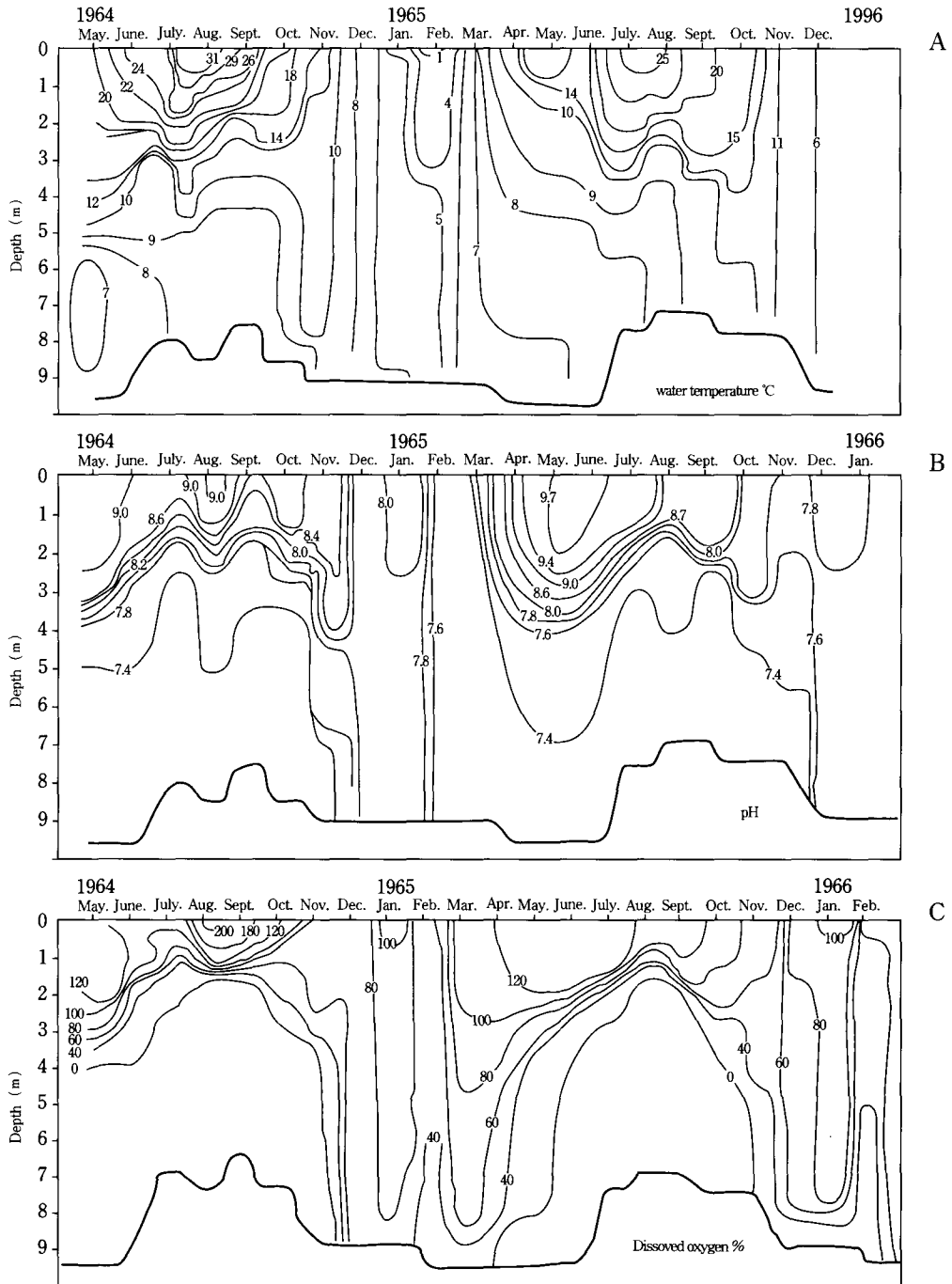


Fig 2. Seasonal changes of water temperature (A), hydrogen ion concentration (B) and dissolved oxygen (C) in Lake Wakuike.

期、冬停滞期以外は7.2~7.3を示していた。

○ 溶存酸素量 (DO) (Fig 2 - C)

パーセントで表示してある。池表面は秋循環期から冬停滞期にかけて100%以下の時期がある外は、すべて飽和度を越え、最多は夏停滞期の205%であった。

富栄養湖である涌池は夏停滞期に、溶存酸素の躍層が形成される。そしてその下層は無酸素層となる。その最大のものは池表面から1 mまでは酸素層であり、それ以下池底までの5 m間は無酸素層であった。

○ 二酸化炭素 (CO_2)

池表面の夏停滞期は $20\sim 50\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度存在し、他の時期は50以上 $90\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。

夏停滞期、秋循環期は池表面より池底の方が多い分布を示し、冬停滞期、春循環期は上下層等量分布であった。

測定された値はすべて光合成をする為の条件としては充分の量であった。

○ 硫酸イオン SO_4^{2-}

全層に $125\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上含まれていた。池表面は $140\sim 236\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、池底は $125\sim 265\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ で、垂直変化では上層より下層の方が多い分布であったが、時に等量分布のこともあった。なお、1965年1月、冬停滞期の池底直上に $335\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ の最大量が存在した。1964年より1965年の値はや々下まわっていた。

○ 硫化水素 H_2S (Fig 3 - A)

春循環期の終りから秋循環期始めにかけて下層無酸素層に硫化水素が生成される。これは含まれていた硫酸イオンが還元されて生じたものである。無酸素層上限から池底にかけて量は次第に多くなり、池底の最大量は $16\sim 18\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。

しかし、冬停滞期から春循環期にかけては消失して存在しなかった。

○ カルシウムイオン Ca^{2+}

涌池の上層は $38.0\sim 62.9\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、底部は $44.0\sim 93.5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ で、上層から池底にかけて次第に多くなる傾向があった。これらの量は普通の湖沼に比べてかなり多い。

○ マグネシウムイオン Mg^{2+}

涌池の上層は $18.0\sim 62.9\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、底部は $22.0\sim 58.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ で、上層から池底に向かって次第に多くなる傾向が認められた。これらの量は普通の湖沼に比べてかなり多い。

○ 塩素イオン Cl^-

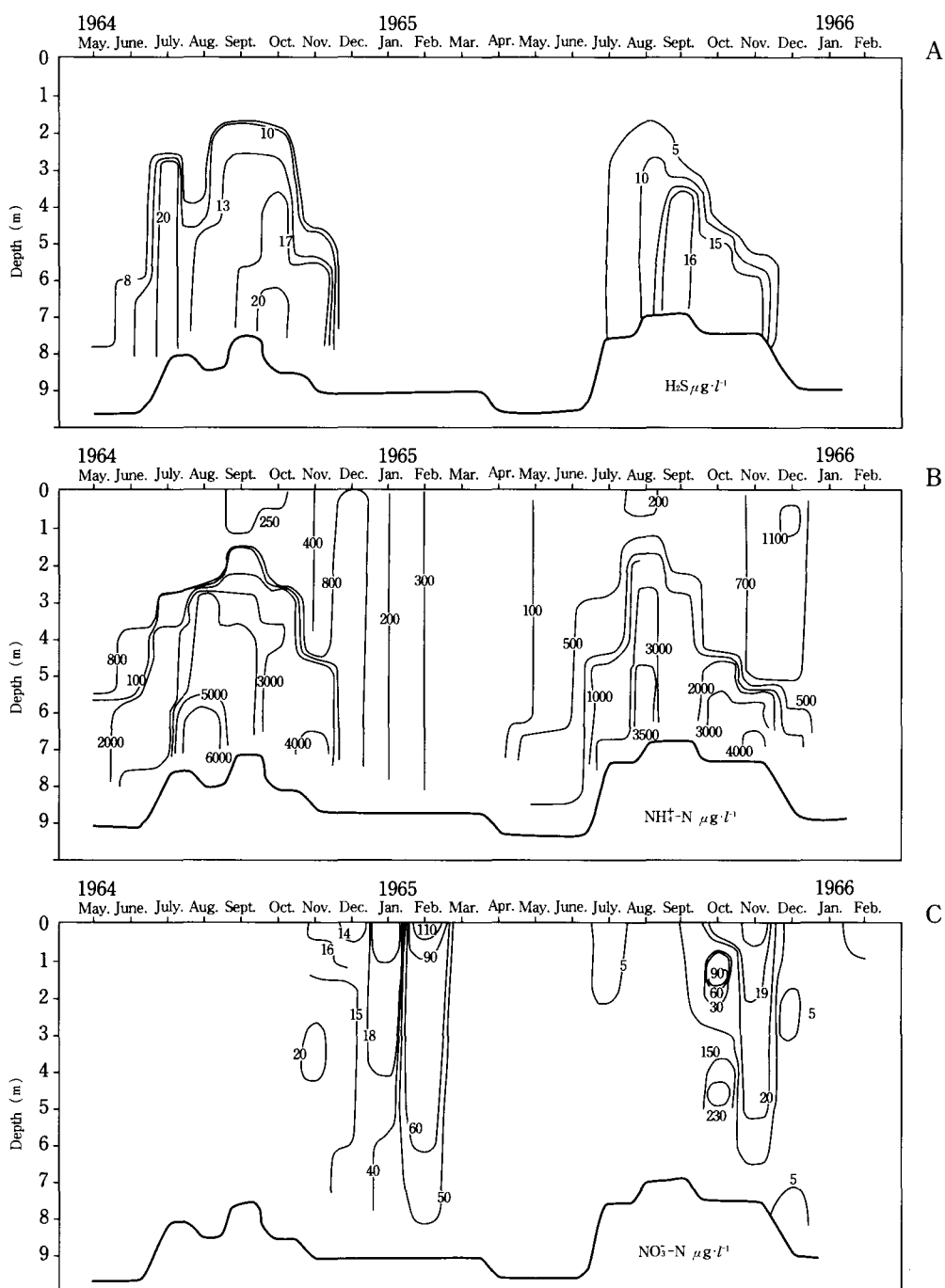


Fig 3. Seasonal changes of hydrogen sulphide (A), Ammonia (B) and Nitrate (C) in Lake Wakuik.

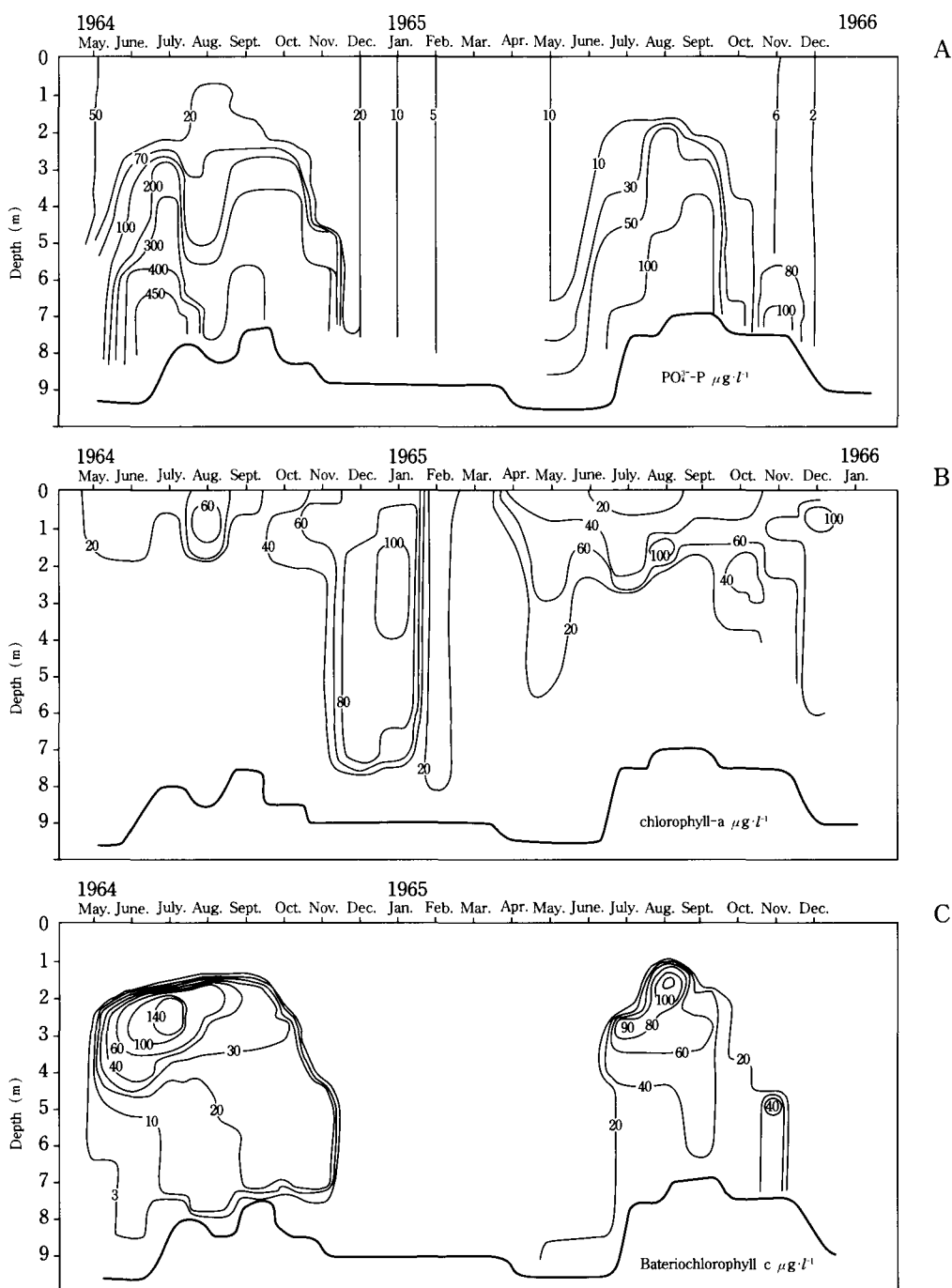


Fig 4. Seasonal changes of phosphate (A), chlorophyll-a (B) and bacteriochlorophyll c (C) in Lake Wakuike.

涌池の上層は $9 \sim 14 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、池底は $7 \sim 13 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、殆ど等量分布を示した。

B 栄養塩

○ アンモニウムイオン-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Fig 3-B)

春循環期の終りから冬停滞期の始めにかけて、池表面では $5 \sim 820 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が存在し、下層は $510 \sim 4350 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と非常に多量に蓄積していた。下層の上限は無酸素層の上限と一致し、池底に向かって次第に濃度を増していた。冬停滞期には、 $710 \sim 950 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ の量で全層に等量分布していたものが、春に向かって三分の一程度の $170 \sim 330 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 濃度となる。これは光合成に活用されるものの外に、池表面から放出されるのがその理由と思われる。

○ 亜硝酸イオン-N, $\text{NO}_2^-\text{-N}$

秋循環期の終りから冬停滞期の始めにかけて出現した。 $1 \sim 4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、ほぼ全層の等量分布であった。

1965年10月の分布量は違っていた。池表面から水深 4 m までは $0.5 \sim 3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であったが、5 m 層から次第に増え、池底部 7 m では $3890 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と多量であった。このことは底泥からの NO_2 の溶出の様子を示しているものと考えられる。

春先から秋循環期にかけては、全層 $\text{tr.} \sim 0.3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ とわずかな量であった。

○ 硝酸イオン-N, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (Fig 3-C)

秋循環期の終り頃から冬停滞期にかけて $2 \sim 30 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、全層等量分布の傾向を示していた。

1965年10月の分布量は、池表面から水深 3 m までは tr. から $19 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ まで増減しながら下降し、4, 5 m 層で $156 \sim 237 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と大量に出現し、それ以下では消失した。

夏の停滞期では $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の出現の時と、 $1 \sim 5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ の場合があったが、いずれも池表面とその直下のみに認められた。

○ リン酸イオン-P, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (Fig 4-A)

春循環期の終りから秋循環期にかけて、池表面付近では $1 \sim 24 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が含まれていたが、下層は $48 \sim 450 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と非常に多量に蓄積されていた。

下層の上限は無酸素層の上限と一致し、池底に向かって次第に高濃度となっていた。

冬停滞期は初期 $15 \sim 20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、全層等量分布であったが、次第に $1 \sim 6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 位の低濃度となっていた。

○ ケイ酸 $\text{SiO}_2\text{-Si}$

池の上層は $3 \sim 10 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、底部は $6 \sim 14 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、上層から底部に向かって濃度を増していた。

C クロロフィル、バクテリオクロロフィルと生産量

○ クロロフィル a 量 (Fig 4-B)

植物プランクトンの分布域と分布量について調べた。

池表面のクロロフィル a 量は常に $20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上であった。

秋循環期から冬停滞期にかけては池底まで酸素層であるので、植物プランクトンが生息しているが、その外の時期は酸素層が上部に限られているので、ある程度の深度までしか分布が認められなかった。

夏停滞期は池表面ではなく、その直下の 1～2 m 層に多量のクロロフィル a 量が存在した。年により異なるが、 $60 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、 $120 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が最大量であった。

冬停滞期では、最多 $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が水深 1～4 m 間に認められ、 $80 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ というかなりの量が 7.5 m の底部まで分布していた。

○ バクテリオクロロフィル C 量 (Fig 4-C)

涌池の下層には光合成細菌が生息している。

以前は紅色硫黄細菌 *Chromatium* であったが、現在は緑色硫黄細菌 *Chlorobium* に変わっている。

この緑色硫黄細菌の光合成色素はバクテリオクロロフィル C (Bacteriochlorophyll. C) で、分布量を調べた。

バクテリオクロロフィル C の分布は水深 2～3 m を中心に最大量が測定され、これを上限として、以下、池底に向かって減少していた。緑色硫黄細菌は酸素層には生息せず、上部の酸素層の下限、無酸素層の上限近くの薄い硫化水素層に最大量分布しているのである。ちなみに、硫化水素はこの細菌の光合成の素料である。

春循環期から秋循環期まで形成される下層の無酸素層は、また硫化水素含有層と一致する。

最大量は 1964 年 $140 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、1965 年は $111 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、冬・春期の分布は認められない。

○ 植物プランクトンの基礎生産

湖表面 1 m^2 で補償深度までの柱状内容積を生産層の単位とする。涌池ではこの深度は

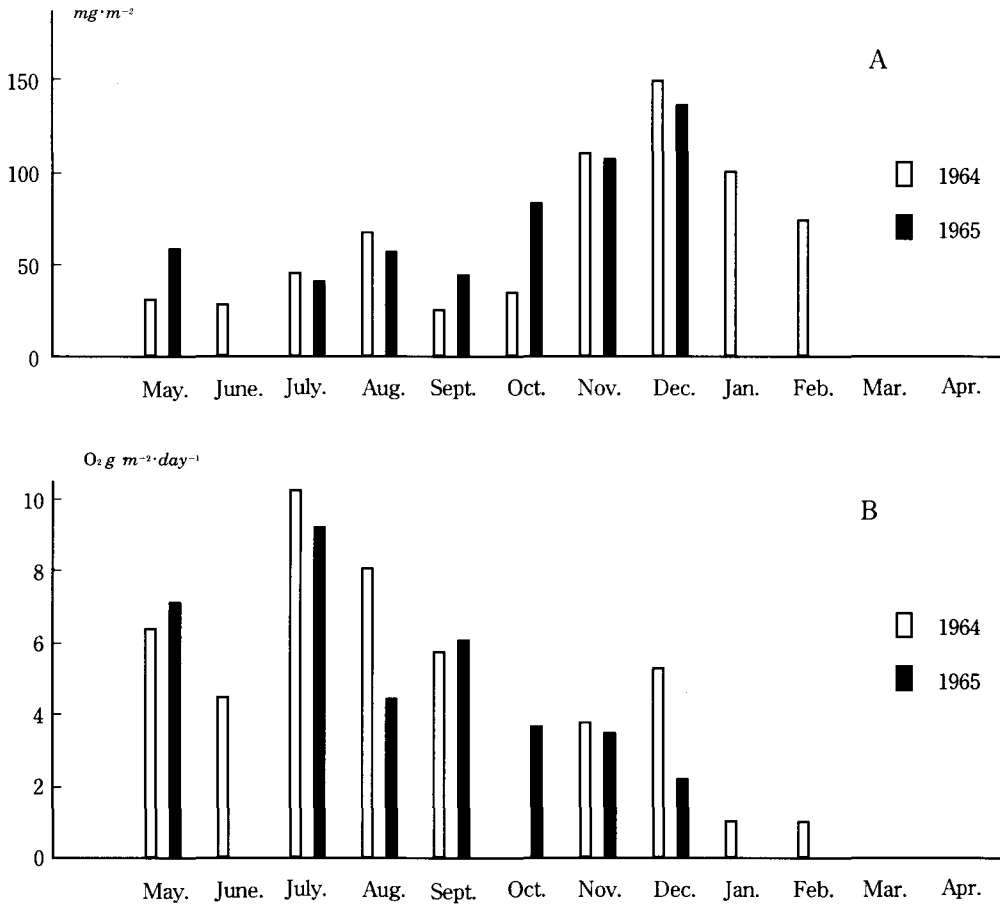


Fig 5. Seasonal changes of chlorophyll-a (A) and gross production (B) in the water column from surface to compensation depth in 1964~1965.

ほぼ 2 m にあたる。

この生産層に含まれる植物プランクトンのクロロフィル a 量を見ると、(Fig 5-A) 秋循環期の終り頃から冬停滞期中頃にかけては $100 mg \cdot m^{-2}$ であり、この池の最大量は $158 mg \cdot m^{-2}$ であった。夏停滞期は $50 mg \cdot m^{-2}$ で、かえって減少していた。なお最低量は 9 月の $24 mg \cdot m^{-2}$ であった。

植物プランクトンの基礎生産量(総生産量)は、深度別に採取した池水を酸素ビンに入れて 1 日現場につるす明暗ビン法で、測定は酸素法(酸素滴定)によった。ただし、1965 年 7 月から 10 月までの 4 回は $^{14}CO_2$ 法によったので結果を O_2 に換算して用いた。(Fig 5-B)

高い生産量は夏停滞期にみられ、 $4.5 \sim 10.4 O_2 g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ で、最大量は 8 月にみられ

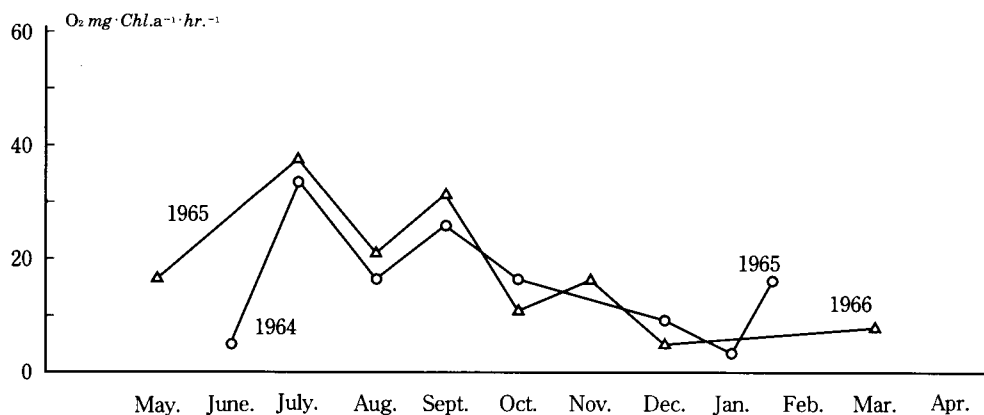


Fig 6. Seasonal changes of assimilation number in Lake Wakuike.

た。春循環期が $6.5 \sim 7.0 \text{ O}_2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ と続き、秋循環期、最後に $0.9 \sim 5.2 \text{ O}_2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ の冬停滞期の順であった。なお、総生産量に含まれる呼吸量は、秋・冬期は50%程度とやや多い傾向を示した。

植物プランクトンの光合成活性を調べるため湖表面水を酸素ビンに取り、池面に並べて現場で正午前後数時間自然光にあてた。この結果得られた同化指数を示した。(Fig 6) 指数は7月と9月に高く、8月は低下する2山型を示し、冬期を中心に低下していた。最大値は $39.0 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \text{Chl.}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、最少値は $5.5 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \text{Chl.}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ であった。

Table 1 Main Plankton

クロオコックス	<i>Chroococcus dispersus</i>
〃	<i>Ch. minutus</i>
アナベノブシス	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>
ムシモ	<i>Peridinium sp.</i>
ツノモ	<i>Ceratium hirundinella</i>
クラミドモナス	<i>Chlamydomonas cingulata</i>
ミクラクティニウム	<i>Micractinium pusillum</i>
ホルミディウム	<i>Hormidium subtile</i>
ツボウムシ	<i>Brachionus calyciflorus</i>
アカツボウムシ	<i>B. rubens</i>
ツノウムシ	<i>B. diversicornis</i>
コシボソカメノコウムシ	<i>Keratella valga</i>
シボリフクロウムシ	<i>Asplanchna sieboldi</i>
ニセカメノコウムシ	<i>Anuraeopsis fissa</i>
タイホクケンミジンコ	<i>Thermocyclops taihokuensis</i>
ケンミジンコの幼生	<i>Nauplius larvae</i>

D プランクトン

主なプランクトンを示す。(Table 1)

植物プランクトンでは藍藻類、緑藻類が多く、珪藻類は必ずしも多くなかった。上野(1938)が記録した藍藻の *Anabenopsis raciborskii* はずっと生息し続けている。この種は熱帯系種といわれ、生産力も大きい。

動物プランクトンは橈脚類のほか、輪虫類が多かった。生息している種からみても涌池は富栄養湖であることがわかる。

4 考察

涌池は以前から無機成分の大変多い池として知られ、吉村(1938)は伝導度 $788 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ を観測した。非火山系水域としては、これは非常に高い値である。

今回の調査では未測定であったので、1981年の伝導度データを示す。(Fig 7) 年間 $500 \sim 700 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ と変動した。水位の下がる夏期はやや低く、秋・冬は高い値であって、この値は県内湖沼では最高の値であった。

この多量な無機成分は、当然植物プランクトン・光合成細菌の生産を高める条件として有利に働くわけである。

涌池の多量な無機成分は付近の湧水等から池中に注入されると考えられていたが実証データはなかった。

小林(1999)は、涌池周辺の湧泉、地汙り跡崩落積土からの溶出実験、および地汙り

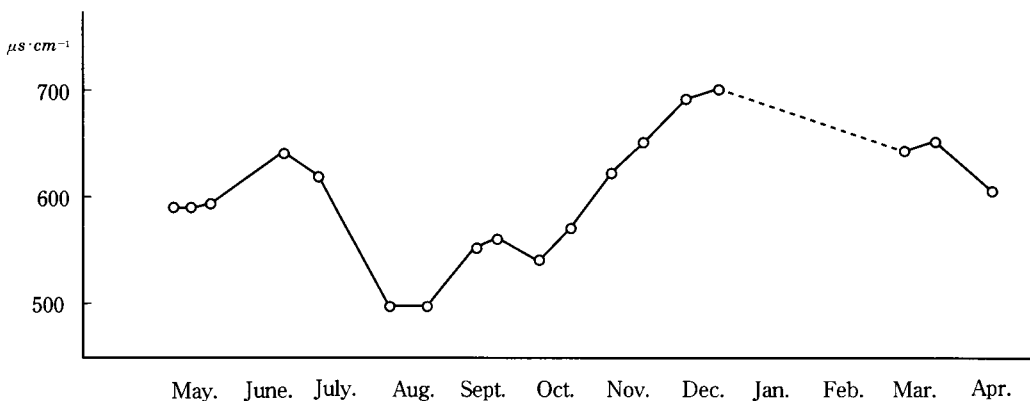


Fig 7. Seasonal conductance in the surface water in 1981.

防止対策集水井排水を調べ、高い値の硫酸イオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン等を測定し、これらが無機の主成分であることを示した。この基盤土壤に硫酸カルシウム、硫酸マグネシウムとして存在してたものが溶け出したものである。(Table 2)

Table 2 Water general feature (inorganic ion matters) of Lake Wakuike and its around area.

Locality	pH	ED	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
Benten spring	6.8	769	19.1	0.9	79.8	42.0	6.8	247	80.6
Farm pond	9.5	518	15.6	2.2	52.6	24.0	9.1	173	67.0
Lake Wakuike A	6.8	496	12.3	0.8	44.4	26.3	15.3	117	84.4
Lake Wakuike C	6.9	734	20.7	0.9	88.4	32.3	10.9	229	111.0

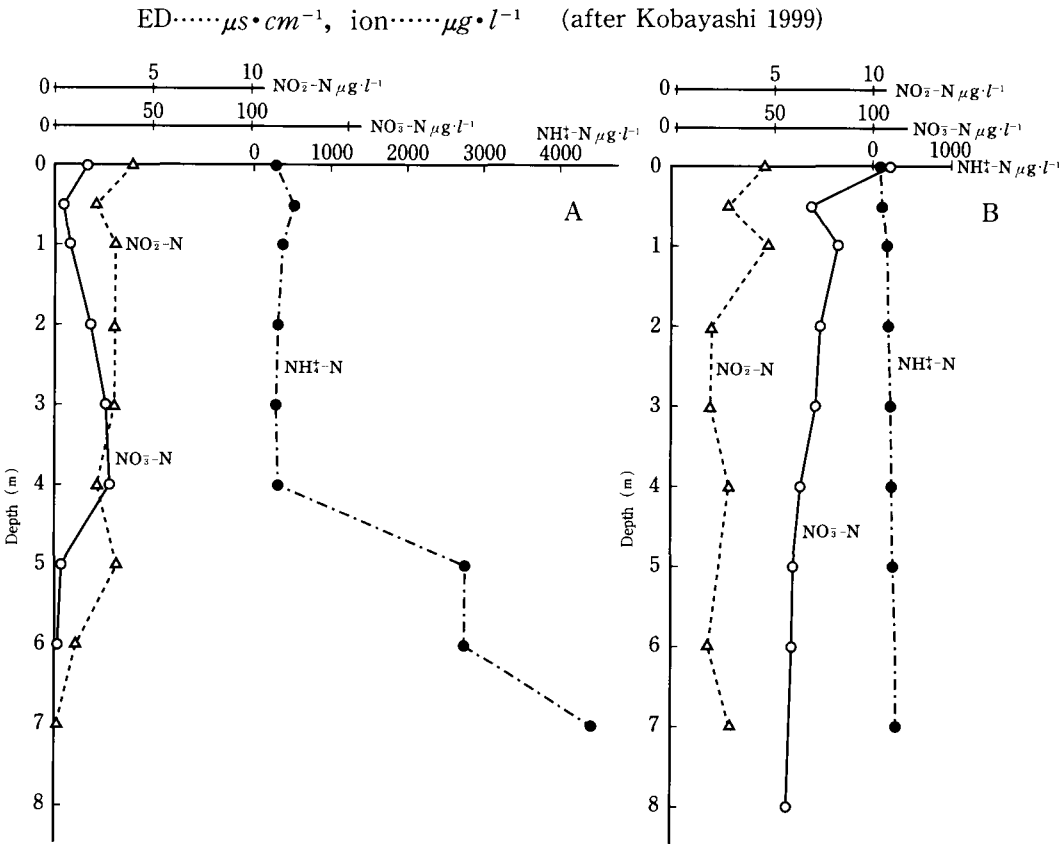


Fig 8. Vertical distribution of nitrate, nitrite and ammonia. A: November 1964, B: February 1965.

ここで、植物プランクトンの生産にかかわる栄養塩 N と P の動態について考えてみる。

N 化合物では秋循環期（1964年11月）では（Fig 8-A）水温躍層が 5 m にあり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は湖表面から躍層までは $340\sim 530\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であったが、それ以下は $270\sim 4350\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と大量に増加した。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は 5 m までは $2\sim 4\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $5\sim 26\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であったが、躍層以下では減少していた。

冬停滞期（1965年2月）に入ると水温躍層は消失し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は上層から湖底へ $190\sim 400\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と直線的に変化し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は $2\sim 5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は湖表面 $111\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ から湖底 $59\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と変化した。（Fig 8-B）

つまり、秋循環期から冬停滞期になると水温躍層が消失して還元層がなくなり、下層の $\text{NH}_4\text{-N}$ は、安定型の $\text{NO}_3\text{-N}$ に変化したことを示している。

$\text{PO}_4\text{-P}$ の場合、（Fig 9）1964年11月で 5 m の躍層以下では $152\sim 267\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と大量であったが、12月になると躍層消失とともに全層 $15\sim 20\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と直線的分布に変化していた。

クロロフィル a 量からみて生産層中の植物プランクトン量が、夏期停滞期でなく秋循環期の終り頃から冬停滞期にかけて、最多量になるのは何故であろうか。

還元層に蓄積されていた $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ など栄養塩が、冬循環期になり上層に拡散して全層に分布し、植物プランクトンがこれを有効に利用したためである。

生産層中の植物プランクトンの生産量が、夏停滞期に必ずしも最多量の植物プランクトン量でないにもかかわらず最大量となり、秋循環期の終りから冬停滞期には、植物プランクトン量が最多量を占めているのに、生産量が少量なのは何故であろうか。

それは水温が限定要因となっており、夏期には高温で植物プランクトンの活動が高まり、秋・冬期は低温で低下したためである。

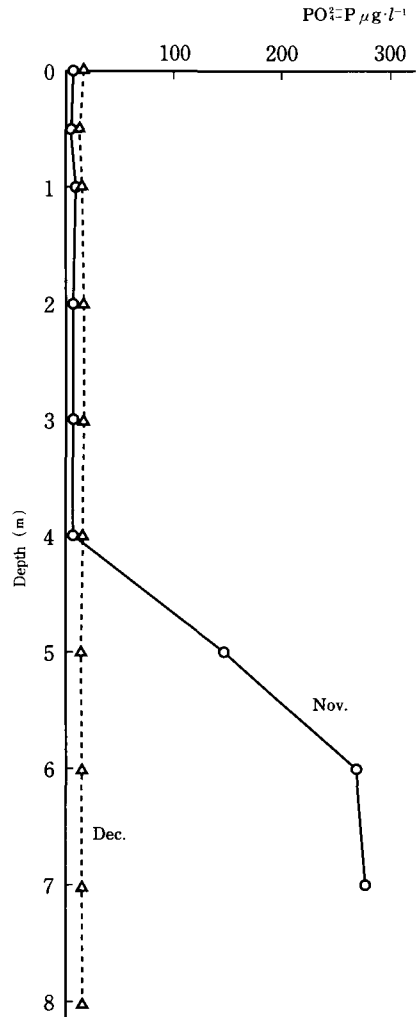


Fig 9. Phosphate change from November to December 1964.

下層無酸素層（還元層）には光合成細菌が生息する。神保（1939）は、夏期下層水が紅色硫黄細菌 *Chromatium* でピンク色をしているのをみている。顕微鏡下でこれに綠色硫黄細菌 *Chlorobium* が混生しているのを確認している。冬期には池水中に認められなかったが、底泥をビンに入れ窓辺に置いたところ、両菌が出現したという。

筆者（1960）の調査でも下層から硫化水素臭とともにピンク色の水が取れたが、水を満したビン日光にさらしたところ綠色となった。この時は両菌が生息していた。ところが本研究を始めたところ、すべて綠色硫黄細菌のみに変わっていた。高橋（1968, '70）の調査でも綠色硫黄細菌であった。pHが変化するとこのような交代が起きると Kuzunetzov が述べているが、pHの変化がなかったので、ここでは説明にならない。

この綠色硫黄細菌はバクテリオクロフィルCを含んでいる。バクテリオクロフィルCは春循環期の終り頃から秋循環期の間に出現し、その最大量は1964年は $140\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、1965年は $114\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。冬期から春先までは見られない。垂直分布では無酸素層の最上部に集中的に分布し、底部に向かって分布量を減らしていた。

1965年7月から10月の4回 $^{14}\text{CO}_2$ 法で、上層の植物プランクトンと共に綠色硫黄細菌の光合成量を測定した。

植物プランクトンと綠色硫黄細菌の動態について若干の要因とともに関連をみる。

1965年8月（Fig 10-A）では、水温躍層が水深1～2 m間にあり、酸素分布は1.5mで消失し、これ以下では硫化水素が湖底部に向かって増加していた。

CO_2 は上層より下層が2倍も含まれている。

pHは湖表面8.7と高アルカリ性を示すが、変水層下では7.4と減少している。

クロロフィルa量は池表面より水深1 mでは2倍量となったが、分布はここまでで、1.5m以下はバクテリオクロフィルcの分布域となる。

分布量は1.5mで $56\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と大きな値でピークとなり、以下、次第に減少していた。

総生産量では、植物プランクトンは池表面から1 mの間で $2.2\sim 4.2\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ であったが、1.5mでは綠色硫黄細菌の活動域となり途端に $0.35\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ と上層の10%に減少した。

綠色硫黄細菌の場合、特に水深5～6 mで明ビン内でかなりの光合成を示したが、暗ビン内でもCOの取り込みがあり、これは化学合成であると推測された。

冬停滞期の1965年12月では（Fig 10-B）水温、溶存酸素量、pHは殆ど等量分布を示

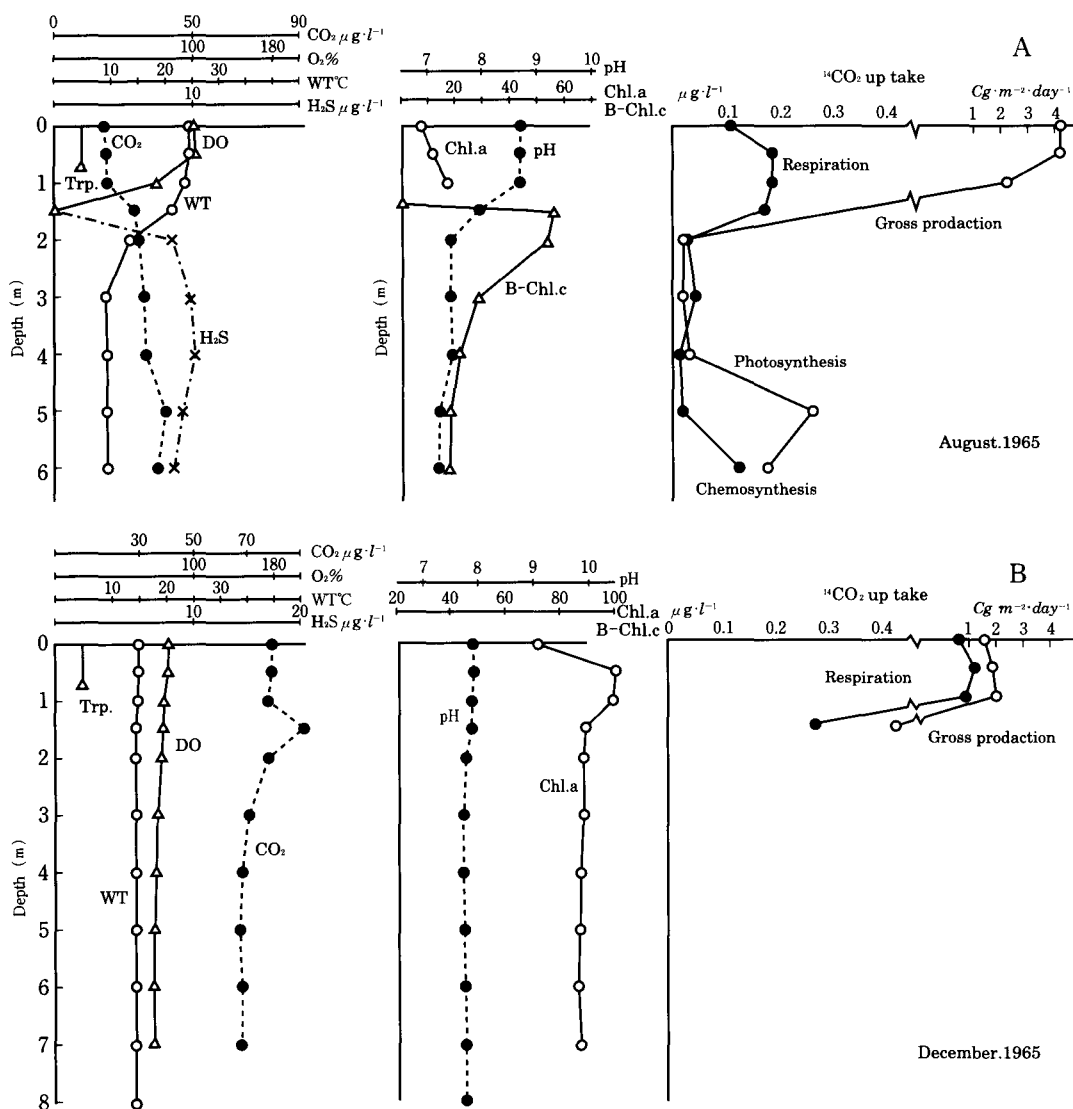


Fig 10. Vertical profile *in situ* Carbon assimilation activity in Lake Wakuike.

A: August 1965, B: December 1965.

した。 CO_2 は1.5mに、クロロフィル a 量は上層から0.5~1.5m間に多量な分布帯が出現した外は、同様に等量分布であったが、 CO_2 、クロロフィル a 量は夏期よりかなり増加した。冬期のため硫化水素層、緑色硫黄細菌は出現しなかった。総生産量は池表面から水深1mまでの間で、 $1.80 \text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ と、夏期の40%程に減少し、1.5mでは $0.43 \text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ と低下した。

上層の植物プランクトンの光合成量に、下層の緑色硫黄細菌の光合成量と化学合成量

Table 3 Gross production of phytoplankton, green sulphur bacteria and total amount.
 $Cg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$

Date	Phytoplankton*	Green Sulphur Bacteria**		Total amount
	Photosynthesis	Photosynthesis	Chemosynthesis	
July 1965	3.136	0.080	0.025	3.241
August //	1.537	0.074	0.023	1.634
September //	2.092	0.044	0.109	2.246
October //	1.249	0	0.097	1.346

* in the water column from surface to compensation depth

** in the water column from the top of anoxic layer to bottom

を加えた涌池の総生産量を示す。(Table 3)

1965年の夏から秋の結果であるが、植物プランクトンの光合成量は次第に低下している。緑色硫黄細菌の光合成量は夏から秋へ減少し、10月は0であった。化学合成量は逆に増加して、10月は化学合成のみであった。そして緑色硫黄細菌の全同化量は夏・秋ともほぼ同量であった。涌池の総生産量に占める光合成細菌の役割は、夏より秋の方が大きい、その割合は最大で7%とあまり多くはなかった。

松山(1978)によると水月湖でも下層の光合成細菌が冬期では同化量が化学合成のみであった、涌池と同じ現象が起きていた。

涌池と池の大きさがよく似ていて、下部無酸素層に緑色硫黄細菌が生息している富栄養湖の深見池(長野県下伊那郡阿南町)を調査した八木ら(1983)の報告と涌池の状態を比較してみると、クロロフィルa量は深見池が多く、透明度、水温、バクテリオクロロフィルc量などは大差がないが、 H_2S , NH_4^+-N , $NO_2^- -N$, $NO_3^- -N$, $PO_4^{3-} -P$, 生産量などは涌池の方がかなり多いことが判明した。

本研究についてご懇篤なるご指導を賜りました名古屋大学名誉教授西條八束先生、お忙しいなか本稿のご校閲を頂いた筑波大学名誉教授安藤裕先生、日頃ご指導を賜っている藻類研究所長福島博先生以上の方々に深く感謝いたします。

Resume

The lake Wakuike in Nagano City is a remarkable salt water lake which is a 0.023km² area and a maximum depth 10.8m. The lake water was stratified from December to February, from June to August, and circulated from September to November, from March to May. The amount of chlorophyll-a in the euphotic layer was low during the circulated period and high during the stagnation period in winter.

The euphotic layer with phytoplankton was 1.5~2m depth under the surface of lake and the layer below 1.5~2m was the anaerobic condition with hydrogen sulphite gas in which the green sulphur bacteria such as *Chlorobium* lived at the summer stagnation period.

From the Gross production in this lake, CO₂ uptake became clear and its uptake measured monthly from July to October in 1965. A high carbon uptake by phytoplankton ($1.2\sim3.1\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) and a very low by green sulphur bacteria (photosynthesis) $0\sim0.08\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, (chemosynthesis) $0.025\sim0.109\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$. Total assimilation was $1.3\sim3.2\text{ Cg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$.

文 献

涌 池

- 神保忠男 (1939) 涌池の冬期状態と硫黄細菌. 生態学研. 5:160-161.
- (1939) 涌池の夏季観察. 同 5:320-321.
- Jimbo T. (1940) Beobachtungen einiger thiotropher seen Japans mit besonderer Berücksichtigung der Schwefelbakterien II. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Biology. 15:6-11.
- 小林良夫 (1999) 涌池とその周辺部の湧水について. 市誌研究ながの 6号 252-273.
- Kuznetzov (1950) Die Rolle der Microorganismen im Stoffkreislauf der See. Berlin.
- 野崎健太郎・高橋辰也・坂井正・渡辺義人・中本信忠 (1995) 夏期の湧池における栄養塩類と植物プランクトンの垂直分布. 信州大学環境科学年報 第17巻:63-68.
- 落合照雄 (1960) 涌池の現状について. 陸水雑., 21:221-228.
- (1966) 湖沼におけるプランクトンの生産力と栄養塩との関係 — 涌池の生物生産の研究一. 奨励研究レポート 第6回長野県学校科学教育奨励基金

- (1984) 信州の湖沼. 長野
- (1988) 1988年の涌池のプランクトン. 日陸水甲信越報., 13・14号・:54-57.
- (1997) プランクトン. 長野市誌. 自然編. 229-230.

Takahashi, M. and S. Ichimura (1968) Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulphur bacteria in Japanese Lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 13:644-655.

- and — (1970) Photosynthetic properties and growth of photo-synthetic sulphur bacteria in Lakes. *ibid.*, 15:929-944.

田中阿歌麿 (1926) 野尻湖の研究. 附. 犀曲地方の湖沼. 58-86.

Ueno, M. (1936) Productivity of an extremely eutrophic Lake in Middle Japan. *Proc. Imp. Acad. Tokyo.*, 11:248-250.

Yoshimura, S. (1936) Limnology of Lake Wakuike, Nagano Prefecture Japan. *ibid.* 11:245-247.

深見池

上野益三 (1952) 深見池, . 下伊那教育叢書. 9 輯

Yagi, A., I. Shimodaira, H. Terai and Y. Saijo (1983) Seasonal change of chl_a and bacteriochl_a in Lake Fukami-ike. *Japan. J. Limnol.*, 44:283-292.

水月湖

Matsuyama, M. (1978) Limnological aspects of Meromictic Lake Suigetsu: its environmental condition and biological metabolism. *Bull. Fac. Fisheries, Nagasaki Univ.*, 44:1-66.

バクテリオクロロフィルの同定, 定量

Olson, J.M. and C.A. Romano (1962) A new chl_a from green bacteria. *Biochim. Biophys. Acta* 50:726-728.

Sorokin, J.I. (1965) On the trophic role of Chemosynthesis and Bacterial Biosynthesis in the water bodies. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18: Suppl. 187-205.

Stanier, R.Y. and J.H.C. Mith (1960) The chlorophylls of green bacteria. *Biochim. Biophys. Acta.* 41:478-484.